三种杀虫剂对褐飞虱海藻糖含量和海藻糖酶活性的影响

赵克非，戈林泉，程　耀，吴进才*，杨国庆
（扬州大学园艺与植物保护学院，江苏扬州 225009）

摘要：为了解农药处理导致褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål)飞行能力增强的生理机制，本文采用蒽酮法和酶促反应终止法，研究了吡虫啉、三唑磷和溴氰菊酯3种杀虫剂亚致死剂量对褐飞虱3龄、5龄若虫及长、短翅型雌雄成虫体内海藻糖含量和海藻糖酶活性的影响。结果表明：杀虫剂处理的褐飞虱3龄若虫海藻糖含量和海藻糖酶活性与对照相比没有显著差异($P>0.05$)。40 mg/L 三唑磷处理的褐飞虱5龄若虫体内海藻糖含量显著低于对照($P<0.05$)，比对照降低了24%；而20和40 mg/L 三唑磷处理的褐飞虱5龄若虫海藻糖酶活性显著高于对照($P<0.05$)，分别比对照高出了100%和129%。10 mg/L 吡虫啉，20和40 mg/L 三唑磷以及3和6 mg/L 溴氰菊酯处理的褐飞虱短翅雌成虫和雄成虫体内海藻糖含量显著低于对照($P<0.05$)，雌成虫体内海藻糖含量比对照分别降低了36%，53%，67%，58%和69%，雄成虫体内海藻糖含量比对照分别降低了59%，71%，65%，70%和77%；而40 mg/L 三唑磷以及3和6 mg/L 溴氰菊酯处理的褐飞虱短翅型雌成虫和雄成虫体内海藻糖酶活性显著高于对照($P<0.05$)，雌成虫体内海藻糖酶活性比对照分别高出了124%，100%和88%，雄成虫体内海藻糖酶活性比对照分别高出了146%，132%和118%。10 mg/L 吡虫啉，40 mg/L 三唑磷和3 mg/L 溴氰菊酯处理的褐飞虱长翅型雌成虫和雄成虫海藻糖含量显著低于对照($P<0.05$)，雌成虫海藻糖含量比对照分别降低了44%，34%和37%，雄成虫体内海藻糖含量比对照降低了48%，54%和43%；而5和10 mg/L 吡虫啉处理的长翅型雌成虫和雄成虫海藻糖酶活性显著高于对照($P<0.05$)，雌成虫体内海藻糖酶活性比对照分别高出了317%和300%，雄成虫体内海藻糖酶活性比对照分别高出了170%和97%。这些结果说明这3种杀虫剂亚致死剂量处理可以增强褐飞虱体内海藻糖酶活性，并导致海藻糖含量下降。本研究结果对深入阐明农药诱导褐飞虱再猖獗及杀虫剂处理增强其飞行能力的生理机制具有一定的科学价值。

关键词：褐飞虱；杀虫剂；亚致死剂量；海藻糖；海藻糖酶；能量物质；飞行能力
中图分类号：Q965.9　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2011)07-0786-07

Effects of three insecticides on trehalose content and trehalase activity in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae)

ZHAO Ke-Fei, GE Lin-Quan, CHENG Yao, WU Jin-Cai*, YANG Guo-Qing (College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: To understand the physiological mechanism of insecticide-induced enhancement of flight capacity of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål), we examined the changes of trehalose content and the trehalase activity in the 3rd and 5th instar nymphs and the adults of *N. lugens* under the stress of sublethal dose of three insecticides (imidacloprid, triazophos and deltamethrin). The results showed that the trehalose content and the trehalase activity in the 3rd instar nymphs treated with three insecticides were not significantly different from those of the control ($P>0.05$). The trehalose content in the 5th instar nymphs treated with 40 mg/L triazophos was significantly lower than that in the control ($P<0.05$), decreased by 24%, while the trehalase activity in the 5th instar nymphs treated with 20 and 40 mg/L triazophos was significantly higher than that in the control ($P<0.05$), increased by 100% and 129%, respectively. Compared to the controls, the trehalose content in brachypterous female and male adults was significantly reduced in treatments of 10 mg/L imidacloprid, 20 and 40 mg/L triazophos, and 3 and 6 mg/L deltamethrin ($P<0.05$), decreased by 36%, 53%, 67%, 58% and 69% in female

基金项目：国家“973”计划项目(2010CB126200)；国家自然科学基金项目(30870393)
作者简介：赵克非，男，1986年生，河南郏县人，硕士研究生，主要从事水稻害虫再猖獗的研究，E-mail：zhaokefei128@126.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail：jc.wu@public.yz.js.cn
收稿日期 Received：2010-11-20；接受日期 Accepted：2011-05-27

adults, and 59%, 71%, 65%, 70% and 77% in male adults, respectively. However, the trehalase activity in brachypterous female and male adults was significantly increased in treatments of 40 mg/L triazophos and 3 and 6 mg/L deltamethrin, compared to the controls ($P<0.05$), increased by 124%, 100% and 88% in female adults, and 146%, 132% and 118% in male adults, respectively. The trehalose content in macropterous female and male adults treated with 10 mg/L imidacloprid, 40 mg/L triazophos and 3 mg/L deltamethrin was significantly lower than that in the control ($P<0.05$), decreased by 44%, 34% and 37% in female adults, and 48%, 54% and 43% in male adults, respectively. However, the trehalase activity in macropterous female and male adults treated with 5 and 10 mg/L imidacloprid, was significantly higher than that in the control ($P<0.05$), increased by 170% and 97% in female adults, and 317% and 300% in male adults, respectively. The results suggest that the trehalase activity of *N. lugens* is increased by treatments of sublethal dose of the three insecticides, while the trehalose content is reduced. The present work provides some valuable clues for understanding the mechanism of insecticide-induced enhancement of flight capacity of the *N. lugens*.

Key words: *Nilaparvata lugens*; insecticide; sublethal dose; trehalose; trehalase; energy substance; flight capacity

褐飞虱 *Nilaparvata lugens*(Stål)(同翅目：飞虱科)是亚洲水稻产区的一种重要的远距离迁飞性害虫(Dyck and Thomas, 1979)，每年都借助季风在热带和亚热带稻区之间进行转移危害(程遐年等, 1979; Rosenberg and Magor, 1987; Riley *et al.*, 1994)。在中国，褐飞虱夏季从南方迁飞至长江中下游的水稻产区，经过 2～3 代繁殖后在长江中下游地区形成种群最高峰，甚至暴发成灾。到秋季后，又从北向南方热带稻区迁移(程遐年等, 1979)。近年来，褐飞虱在我国各地不断暴发，并且严重地影响了水稻的产量(程家安和祝增荣, 2006; 高希武等, 2006; 刘家成和缪勇, 2006)。有研究表明，褐飞虱的暴发与迁飞种群的数量密切相关(程遐年等, 2003)，并且经过远距离迁飞的雌成虫产卵量显著增加(沈丽和程遐年, 1998)。这些现象均表明迁飞行为对褐飞虱的种群发展非常有利。我们最近的研究发现，杀虫剂(三唑磷、吡虫啉和溴氰菊酯)亚致死剂量处理均可以诱导褐飞虱飞行时间、飞行速度及飞行距离显著提高(Zhao *et al.*, 2011)，但其生理生化机制尚不清楚。

海藻糖是一种贮藏性糖类，被称为昆虫体内的血糖(Thompson, 2003)。海藻糖酶可以专一地将 1 分子海藻糖水解为 2 分子的葡萄糖，葡萄糖经过代谢为昆虫的正常生理活动提供能量(Klowden, 2007)。邹运鼎等(1983)研究表明褐飞虱飞行过程中糖原是主要的能源物质，所以褐飞虱体内海藻糖含量以及海藻糖酶的活性与其飞行能力密切相关。本文研究了杀虫剂处理后褐飞虱体内海藻糖含量和海藻糖酶活性的变化，以期为了解褐飞虱再猖獗及杀虫剂处理增强褐飞虱飞行能力的生理机制提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　供试水稻和虫源

实验中使用的水稻品种是江苏地区大面积推广的淮稻 13(粳稻)。水稻种子播在 60 cm × 100 cm × 200 cm 的水泥池中，待秧苗长到 6 叶期时将其移栽到塑料桶中(高 35 cm × 直径 25 cm)，桶中的土质来源一致，肥水一致，每桶 4 穴，每穴 3 株，在自然条件下培养至分蘖期备实验使用。褐飞虱由中国水稻研究所提供，实验前将褐飞虱转移至温度 28 ± 4℃和光周期 14L∶10D 的养虫室中培养，供试之前未接触过任何农药。

1.2　供试农药

2.5% 溴氰菊酯 EC(南京红太阳集团有限公司)、20% 三唑磷 EC(扬州长青农化有限公司)、10% 吡虫啉 WP(扬州扬农集团有限公司)。

1.3　施药处理和样本收集

基于褐飞虱亚致死剂量(印建莉等, 2008; Samer *et al.*, 2009)，每种杀虫剂设计了两个浓度。将褐飞虱 3 龄若虫释放到分蘖期的水稻上，用装有一个锥形喷嘴(直径 1 mm，压力 310 kPa，流量 300 mL/min)的小喷雾器(浙江市下喷雾器有限公司)分别向水稻喷洒 20 和 40 mg/L 的三唑磷，3 和 6 mg/L的溴氰菊酯，5 和 10 mg/L 的吡虫啉，对照水稻喷洒清水。杀虫剂各浓度和对照处理喷药量均为 100 mL/桶，喷施 1 次。各处理及对照均重复 3

次，且在同一自然温度（25℃～28℃）和光照（日照为16 h）的温室中生长。喷洒农药24 h后，各处理（包括对照）采集3龄褐飞虱若虫30头供试验使用；待剩余若虫发育至5龄，各处理再采集30头5龄若虫以供试验使用；其余褐飞虱羽化为成虫后，各处理和对照分别采集羽化后1 d的短翅型和长翅型褐飞虱雌雄成虫各30头供试验所用（程遐年等，2003）。以上采集到的褐飞虱均放在－70℃的条件下储存备用。

将各个处理及对照采集到的10头褐飞虱放入匀浆器中，加入2 mL预冷的磷酸缓冲液（PBS，0.02 mol/L，pH 5.8），在冰浴条件下充分匀浆后，10 000 g冷冻离心机离心15 min，取上清液立即进行海藻糖酶活性测定。将剩余的上清液放在－70℃条件下保存，并在24 h内用来测定海藻糖和蛋白质的含量。每个处理及对照重复3次。

1.4 海藻糖含量的测定

海藻糖含量的测定参考冯慧（1989）和雷芳等（2006）的方法并加以改进。

取待测褐飞虱提取溶液200 μL移入10 mL试管，加入200 μL 1%硫酸水溶液，于90℃加热10 min，冰浴冷却后，加入200 μL 30%氢氧化钾水溶液，再进行加热10 min，冰浴冷却后加入5 mL显色剂（1 g蒽酮、500 mL 80%的硫酸水溶液），加热10 min，冰浴冷却后立即在630 nm下用722分光光度计测定OD值，并确定OD值与海藻糖含量之间的对应关系。每个处理及对照重复3次。

1.5 海藻糖酶活性的测定

海藻糖酶活性的测定采用雷芳等（2006）的方法并略加改进。

取待测褐飞虱提取溶液1 mL，加入2 mL海藻糖标准溶液（40 mmol/L），37℃水浴30 min，沸水浴2～3 min终止反应，冰浴冷却后移入10 mL试管，加入3 mL显色剂（5 g 3,5-二硝基水杨酸、5 g氢氧化钠、1 g苯酚、0.25 g无水亚硫酸钠，定容至500 mL）于90 ℃加热5 min，冰浴冷却后加入40%的四水合酒石酸钾钠水溶液1 mL，然后在550 nm下用722分光光度计测定OD，并确定OD值与葡萄糖含量之间的对应关系。该葡萄糖为海藻糖在海藻糖酶的作用下所形成的葡萄糖。每个处理及对照重复3次。以牛血清白蛋白作为标准蛋白，采用Bradford（1976）的考马斯亮蓝G-250染色法测定不同处理下褐飞虱的蛋白质含量。海藻糖酶活性以mmol葡萄糖/L·mg pro·min表示。

1.6 数据统计与分析

褐飞虱3龄、5龄若虫体内海藻糖含量和海藻糖酶活性使用二因素方差分析法（杀虫剂种类×杀虫剂浓度）；褐飞虱雌成虫和雄成虫体内海藻糖含量和海藻糖酶活性使用三因素方差分析法（褐飞虱翅型×杀虫剂种类×杀虫剂浓度）。所有数据均采用SPSS软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 杀虫剂对褐飞虱3龄和5龄若虫体内海藻糖含量和海藻糖酶活性的影响

表1中3龄若虫海藻糖含量数据二因素方差分析表明，褐飞虱3龄若虫体内海藻糖含量在杀虫剂种类间和浓度间均没有显著差异（杀虫剂种类：$F=2.1$，$df=2, 26$，$P=0.1550$；浓度：$F=3.5$，$df=2, 26$，$P=0.0519$）；海藻糖酶活性也没有显著差异（杀虫剂种类：$F=0.05$，$df=2, 26$，$P=0.9549$；浓度：$F=2.5$，$df=2, 26$，$P=0.1128$）。

褐飞虱5龄若虫体内海藻糖含量和海藻糖酶活性随杀虫剂种类和浓度的不同而显著变化（表1）。表1中5龄若虫海藻糖含量数据二因素方差分析表明，溴氰菊酯处理的褐飞虱5龄若虫海藻糖含量显著高于三唑磷处理（$F=5.8$，$df=2, 26$，$P=0.0116$），平均值比三唑磷处理增加了14%；另外，40 mg/L三唑磷处理的褐飞虱5龄若虫海藻糖含量显著低于对照（$F=9.0$，$df=2, 26$，$P=0.002$），平均值比对照降低了24%。对海藻糖酶活性的方差分析显示三唑磷处理显著高于溴氰菊酯和吡虫啉处理（$F=20.5$，$df=2, 26$，$P=0.0001$），平均值比溴氰菊酯和吡虫啉处理分别高出了40%和93%；多重比较表明20和40 mg/L三唑磷处理的褐飞虱5龄若虫海藻糖酶活性显著高于对照（$F=10.2$，$df=2, 26$，$P=0.0011$），平均值分别增加了100%和129%。

2.2 杀虫剂对褐飞虱雌成虫和雄成虫体内海藻糖含量的影响

褐飞虱雌成虫体内海藻糖含量随褐飞虱翅型、杀虫剂种类和杀虫剂浓度的不同而变化（表2）。表2中海藻糖含量数据三因素方差分析表明，褐飞虱短翅型雌成虫海藻糖含量显著高于长翅型（表3），平均值比长翅型高出了57%；多重比较显示，吡虫啉处理的褐飞虱雌成虫海藻糖含量显著高于三唑磷和溴氰菊酯处理，平均值比三唑磷和溴氰菊酯处理分别增加了22%和25%；各处理组合平均数的多重

表 1　3 种杀虫剂处理后的褐飞虱 3 龄和 5 龄若虫体内海藻糖含量和海藻糖酶活性

Table 1　Effects of three insecticides on trehalose content and trehalase activity in the 3rd and 5th instar nymphs of *Nilaparvata lugens*

杀虫剂 Insecticide	浓度(mg/L) Concentration	海藻糖含量(mg/g) Trehalose content		海藻糖酶活性[mmol/(L·mg pro·min)] Trehalase activity	
		3 龄若虫 3rd instar nymph	5 龄若虫 5th instar nymph	3 龄若虫 3rd instar nymph	5 龄若虫 5th instar nymph
吡虫啉	5	21.29 ±1.01 a	18.26 ±0.99 ab	0.13 ±0.01 a	0.12 ±0.01 b
Imidacloprid	10	22.70 ±0.57 a	16.50 ±1.44 ab	0.16 ±0.02 a	0.13 ±0.02 b
三唑磷	20	18.58 ±0.46 a	15.72 ±0.25 ab	0.13 ±0.02 a	0.28 ±0.06 a
Triazophos	40	19.22 ±2.63 a	14.81 ±0.15 b	0.17 ±0.02 a	0.32 ±0.01 a
溴氰菊酯	3	17.17 ±0.63 a	18.92 ±0.21 ab	0.16 ±0.01 a	0.16 ±0.08 b
Deltamethrin	6	23.21 ±2.22 a	18.74 ±0.98 ab	0.13 ±0.03 a	0.23 ±0.04 ab
清水对照 Control (water)	0	20.19 ±0.30 a	19.61 ±0.93 a	0.16 ±0.02 a	0.14 ±0.03 b

表中数据为平均值 ± *SD*，同一列数据后不同的字母表示在 5% 水平上具有显著性差异(PLSD 统计检验方法)；下同。Data are mean ± *SD*, and those followed by different letters within the same column show significant difference at the 5% level by PLSD test. The same below.

比较表明 10 mg/L 吡虫啉，20 和 40 mg/L 三唑磷和 3 和 6 mg/L 溴氰菊酯处理的褐飞虱短翅雌成虫体内海藻糖含量显著低于对照(表 2)，比对照分别降低了 36%，53%，67%，58% 和 69%；而 10 mg/L 吡虫啉，40 mg/L 三唑磷和 3 mg/L 溴氰菊酯处理的长翅雌成虫海藻糖含量显著低于对照(表 2)，比对照分别降低了 44%，34% 和 37%。另外，褐飞虱翅型 × 杀虫剂种类、褐飞虱翅型 × 杀虫剂浓度、杀虫剂种类 × 杀虫剂的浓度之间具有显著的交互作用(表 3)。例如，6 mg/L 溴氰菊酯处理的褐飞虱短翅雌成虫和 10 mg/L 吡虫啉处理的褐飞虱长翅雌成虫体内海藻糖含量具有最小值(表 2)，与对照相比分别降低了 220% 和 77%。

褐飞虱雄成虫体内海藻糖含量随褐飞虱翅型、杀虫剂种类和杀虫剂浓度的不同而变化(表 2)。表 2 中海藻糖含量数据三因素方差分析表明杀虫剂种类、浓度显著影响两种翅型雄成虫的海藻糖含量(表 3)。褐飞虱短翅型雄成虫海藻糖含量显著高于长翅型，平均值比长翅雄成虫高出了 42%；多重比较显示，3 种杀虫剂处理间相比，吡虫啉处理的褐飞虱雄成虫体内海藻糖含量显著高于三唑磷和溴氰菊酯处理，平均值比三唑磷和溴氰菊酯处理分别高出了 16% 和 17%；各处理组合平均数的多重比较表明 5 和 10 mg/L 吡虫啉，20 和 40 mg/L 三唑磷和 3 和 6 mg/L 溴氰菊酯处理的褐飞虱短翅雄成虫体内海藻糖含量均显著低于对照(表 2)，分别比对照降低了 44%，59%，71%，65%，70% 和 77%；10 mg/L 吡虫啉、40 mg/L 三唑磷和 3 mg/L 溴氰菊酯处理的长翅雄成虫海藻糖含量显著低于对照(表 2)，比对照分别降低了 48%，54% 和 43%。另外，各处理间有显著的的交互作用(表 3)。例如，6 mg/L 溴氰菊酯处理的短翅型褐飞虱雄成虫与 20 mg/L 三唑磷处理的长翅型褐飞虱雄成虫海藻糖含量具有最小值(表 2)，比对照分别下降了 330% 和 118%。

2.3　杀虫剂对褐飞虱雌成虫和雄成虫体内海藻糖酶活性的影响

表 4 中海藻糖酶活性数据方差分析表明杀虫剂种类、浓度显著影响两种翅型雌成虫海藻糖酶活性。药剂处理显著增加了褐飞虱成虫海藻糖酶活性，尤其是增加了长翅型雌成虫海藻糖酶活性(表 5)。翅型间海藻糖酶活性有显著差异，褐飞虱长翅型雌成虫海藻糖酶活性显著高于短翅型(表 5)，平均值比短翅型增加了 21%。各处理组合平均数的多重比较表明 40 mg/L 三唑磷以及 3 和 6 mg/L 溴氰菊酯处理的褐飞虱短翅型雌成虫海藻糖酶活性显著高于对照(表 4)，分别比对照高出了 124%，100% 和 88%；40 mg/L 三唑磷、6 mg/L 溴氰菊酯和 5 和 10 mg/L 吡虫啉处理的长翅型雌成虫海藻糖酶活性显著高于对照(表 4)，分别比对照高出了 267%，175%，317% 和 300%。另外，方差分析显示各处理间存在显著的交互作用(表 5)。在所有组合中，40 mg/L 三唑磷处理的褐飞虱短翅雌成虫和 5 mg/L 吡虫啉处理的褐飞虱长翅雌成虫体内海藻糖酶活性具有最大值(表 4)，与对照相比分别增加了 124% 和 317%。

表 2 3 种杀虫剂处理对褐飞虱雌成虫和雄成虫体内海藻糖含量的影响

Table 2 Effects of three insecticides on trehalose content in adult female and male of *Nilaparvata lugens*

杀虫剂 Insecticide	浓度(mg/L) Concentration	雌成虫海藻糖含量(mg/g) Trehalose content in female adult		雄成虫海藻糖含量(mg/g) Trehalose content in male adult	
		短翅型 Brachypterous	长翅型 Macropterous	短翅型 Brachypterous	长翅型 Macropterous
吡虫啉	5	10.18 ±1.38 ab	6.47 ±0.63 ab	11.13 ±0.29 b	8.25 ±0.70 ab
Imidacloprid	10	8.06 ±0.71 bc	3.67 ±0.29 c	8.23 ±0.45 bc	5.64 ±1.35 b
三唑磷	20	5.91 ±0.93 bc	5.28 ±0.27 abc	5.75 ±0.47 c	6.86 ±1.14 ab
Triazophos	40	4.21 ±0.21 c	4.30 ±0.56 bc	6.98 ±0.64 bc	5.01 ±1.01 b
溴氰菊酯	3	5.28 ±0.43 c	4.08 ±0.50 c	5.94 ±0.89 c	6.27 ±0.34 b
Deltamethrin	6	3.91 ±0.13 c	4.68 ±0.29 abc	4.63 ±0.97 c	7.33 ±0.53 ab
清水对照 Control (water)	0	12.57 ±1.10 a	6.51 ±0.42 a	19.96 ±1.25 a	10.94 ±0.6 a

表 3 杀虫剂处理后的褐飞虱雌成虫和雄成虫体内海藻糖含量方差分析

Table 3 Analysis of variance of trehalose content in adult female and male of *Nilaparvata lugens* treated with insecticides

变异来源 Variance source	雌成虫海藻糖含量 Trehalose content of female adult			雄成虫海藻糖含量 Trehalose content of male adult		
	自由度 *df*	*F* 值 *F*- value	*P* 值 *P*- value	自由度 *df*	*F* 值 *F*- value	*P* 值 *P*- value
A	1	82.3	0.0001	1	68.6	0.0001
B	2	7.0	0.0003	2	5.9	0.0062
C	2	71.1	0.0001	2	201.3	0.0001
A×B	2	6.5	0.004	2	4.1	0.0258
A×C	2	21.0	0.0001	2	48.1	0.0001
B×C	4	3.7	0.0129	4	2.9	0.0348
A×B×C	4	2.1	0.1072	4	2.3	0.0789

A：翅型 Wing polymorphism；B：杀虫剂 Insecticide；C：浓度 Concentration. 下同 The same below.

表 4 数据的方差分析显示，除了杀虫剂浓度外，杀虫剂种类、翅型及其因子间的互作均显著影响雄成虫的海藻糖酶活性(表 5)。褐飞虱短翅型雄成虫海藻糖酶活性显著高于长翅型，平均值比长翅型高出了 116%；各处理组合平均数的多重比较表明 10 mg/L 吡虫啉，40 mg/L 三唑磷和 3 和 6 mg/L 溴氰菊酯处理的褐飞虱短翅型雄成虫海藻糖酶活性显著高于对照(表 4)，分别比对照高出了 150%，146%，132% 和 118%；5 和 10 mg/L 吡虫啉处理的长翅型雄成虫海藻糖酶活性显著高于对照(表 4)，分别比对照高出了 170% 和 97%。另外，方差分析显示各处理间存在显著的交互作用(表 5)。例如，40 mg/L 三唑磷处理的褐飞虱短翅雄成虫和 5 mg/L 吡虫啉处理的褐飞虱长翅雄成虫体内海藻糖酶活性具有最大值(表 4)，与对照相比分别增加了 146% 和 170%。

3 讨论

海藻糖是昆虫血淋巴中的主要糖类和能量物质(Wyatt, 1967)，它的浓度高低在调节昆虫的生长和发育等方面起着非常重要的作用(Clegg and Evans, 1961; Candy and Kilby, 1962)。海藻糖在昆虫体内非常稳定，只有海藻糖酶能专一地水解 1 分子海藻糖为 2 分子的葡萄糖(Wyatt, 1967)。我们的研究结果显示：吡虫啉、三唑磷和溴氰菊酯处理对褐飞虱 5 龄若虫、雌成虫和雄成虫体内海藻糖含量和海藻糖酶活性均有显著的影响。表现为杀虫剂处理褐飞虱后其体内的海藻糖含量明显下降，而海藻糖酶活性明显增强。因海藻糖酶可以水解海藻糖生成葡萄糖，酶活性越高，则水解能力越强，生成葡萄糖就越多。印建莉等(2008)研究表明吡虫啉、三唑磷和溴氰菊酯 3 种杀虫剂亚致死剂量处理的褐飞虱体内可溶性糖含量显著高于对照，这可能与海藻糖酶活性增强有关。

表 4　3 种杀虫剂处理对褐飞虱雌成虫和雄成虫体内海藻糖酶活性的影响

Table 4　Effects of three insecticides on trehalase activity in adult female and male of *Nilaparvata lugens*

杀虫剂 Insecticide	浓度(mg/L) Concentration	雌成虫海藻糖酶活性 Trehalase activity in female adult [mmol/(L·mg pro·min)]		雄成虫海藻糖酶活性 Trehalase activity in male adult [mmol/(L·mg pro·min)]	
		短翅型 Brachypterous	长翅型 Macropterous	短翅型 Brachypterous	长翅型 Macropterous
吡虫啉	5	0.18 ±0.03 c	0.50 ±0.08 a	0.70 ±0.08 bc	0.81 ±0.10 a
Imidacloprid	10	0.20 ±0.03 c	0.48 ±0.11 a	1.40 ±0.32 a	0.59 ±0.03 ab
三唑磷	20	0.25 ±0.05 bc	0.22 ±0.01 bc	0.85 ±0.16 abc	0.42 ±0.09 bc
Triazophos	40	0.38 ±0.03 a	0.44 ±0.04 a	1.38 ±0.35 a	0.55 ±0.08 bc
溴氰菊酯	3	0.34 ±0.06 ab	0.31 ±0.10 abc	1.30 ±0.17 a	0.36 ±0.06 bc
Deltamethrin	6	0.32 ±0.04 ab	0.33 ±0.04 ab	1.22 ±0.09 ab	0.31 ±0.03 c
清水对照 Control (water)	0	0.17 ±0.02 c	0.12 ±0.02 c	0.56 ±0.13 c	0.30 ±0.12 c

表 5　杀虫剂处理后的褐飞虱雌成虫和雄成虫体内海藻糖酶活性方差分析

Table 5　Analysis of variance of trehalase activity in adult female and male *Nilaparvata lugens* treated with insecticides

变异来源 Variance source	雌成虫海藻糖酶活性 Trehalase activity in female adult			雄成虫海藻糖酶活性 Trehalase activity in male adult		
	自由度 *df*	*F* 值 *F*- value	*P* 值 *P*- value	自由度 *df*	*F* 值 *F*- value	*P* 值 *P*- value
A	1	12.2	0.0013	1	150.7	0.0001
B	2	0.2	0.7827	2	0.7	0.5229
C	2	72.5	0.0001	2	45.4	0.0001
A×B	2	20.1	0.0001	2	7.1	0.0026
A×C	2	11.6	0.0001	2	18.2	0.0001
B×C	4	4.9	0.0031	4	2.9	0.0321
A×B×C	4	5.5	0.0014	4	5.4	0.0016

褐飞虱是东亚地区一种远距离迁徙性害虫(程遐年等，1979；Riley *et al*., 1994)，飞行能力的强弱与其迁飞行为密切相关。有研究表明褐飞虱飞行过程中主要利用的能源物质是糖原(邹运鼎等，1983)。我们的研究结果表明，褐飞虱无论是长翅雌成虫还是长翅雄成虫，经杀虫剂处理后其体内的海藻糖酶活性与对照相比显著增强，海藻糖含量显著下降，说明海藻糖在海藻糖酶的水解作用下转化成了葡萄糖。而葡萄糖在昆虫体内糖类代谢过程中可与糖原互相转化，参与能量代谢。一方面，当昆虫体内血淋巴中葡萄糖含量较低时，糖原便转化为葡萄糖；另一方面，当昆虫体内血淋巴中葡萄糖含量较高时，葡萄糖便转化为糖原贮存起来。另外，还有研究表明溴氰菊酯处理雄性东亚飞蝗可导致其体内海藻糖浓度下降(Alaoui *et al*., 1994)。褐飞虱在卵巢发育至Ⅰ级末期到Ⅱ级初期时，即羽化后 2－4 d 内飞行能力最强(陈若篪等，1984)。本实验中采集的是羽化后 1 d 的褐飞虱长翅成虫，处于起飞的前期，是为进行长距离飞行储备能量的阶段。杀虫剂的使用诱导褐飞虱体内海藻糖酶活性增强，使更多海藻糖被分解成葡萄糖，最终导致褐飞虱体内葡萄糖含量升高，合成更多的糖原。由此也会导致褐飞虱飞行能力的增强(Zhao *et al*., 2011)。

海藻糖酶是昆虫体内与糖代谢有关的一种重要的酶。除了能量代谢，海藻糖酶在昆虫生殖腺和生殖细胞发育等方面也起着重要的作用(Ogiso and Takahashi，1984)。Nath(2000)研究表明，有机磷类农药杀螟硫磷和乙硫磷处理可以引起家蚕脂肪体和血淋巴中海藻糖酶活性升高；高效氯氰菊酯处理亚洲玉米螟后，其体壁和脂肪体内的海藻糖酶活性显著高于对照(于彩虹等，2009)。这些研究结果均表明一些杀虫剂的使用可以诱导海藻糖酶活性的增强。然而，杀虫剂是如何诱导海藻糖酶活性的机制目前还不清楚，需进一步地研究。

参考文献(References)

Alaoui A, Gourdoux L, Atay ZK, Moreau R, 1994. Alterations in carbohydrate metabolism induced in *Locusta migratoria* after poisoning with the pyrethroid insecticide deltamethrin. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 50(3): 183-190.

Bradford MM, 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72: 248-254.

Candy DJ, Kilby BA, 1962. Studies on chitin synthesis in the desert locust. *J. Exp. Biol.*, 39: 129-140.

Chen RC, Wu JR, Zhu SD, Zhang JX, 1984. Flight capacity of the brown planthopper *Nialaparvata lugens*. *Acta Entomol. Sin.*, 27(2): 121-126. [陈若篪, 吴家荣, 祝树德, 张建新, 1984. 褐飞虱的飞翔能力. 昆虫学报, 27(2): 121-126]

Cheng JA, Zhu ZR, 2006. Analysis on the key factors causing the outbreak of brown planthopper in Yangtze Area, China in 2005. *Plant Protection*, 32(4): 1-4. [程家安, 祝增荣, 2006. 2005年长江流域稻区褐飞虱暴发成灾原因分析. 植物保护, 32(4): 1-4]

Cheng XN, Chen RC, Xi X, Yang LM, Zhu ZL, Wu JC, Qian RG, Yang JS, 1979. Studies on the migrations of brown planthopper *Nilaparvata lugens*. *Acta Entomol. Sin.*, 22(1): 1-21. [程遐年, 陈若篪, 习学, 杨联民, 朱子龙, 吴进才, 钱仁贵, 杨金生, 1979. 稻褐飞虱迁飞规律的研究. 昆虫学报, 22(1): 1-21]

Cheng XN, Wu JC, Ma F, 2003. Brown Planthopper: Occurrence and Control. China Agriculture Press, Beijing. 95-101. [程遐年, 吴进才, 马飞, 2003. 褐飞虱研究与防治. 北京: 中国农业出版社. 95-101]

Clegg JS, Evans DR, 1961. Blood trehalose and flight metabolism in the blowfly. *Science*, 134: 54-55.

Dyck VA, Thomas B, 1979. The brown planthopper problem. In: Brady NC ed. Brown Planthopper: Threat to Rice Production in Asia. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 3-17.

Gao XW, Peng LN, Liang DY, 2006. Factors causing the outbreak of brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Stål) in China in 2005. *Plant Protection*, 32: 23-24. [高希武, 彭丽年, 梁帝允, 2006. 对2005年水稻褐飞虱大发生的思考. 植物保护, 32: 23-24]

Klowden MJ, 2007. Metabolic systems in physiological systems. In: Klowden MJ ed. Physiological Systems in Insects. 2nd ed. Academic Press, Elsevier Inc., London. 293-356.

Lei F, Zhang GF, Wan FH, Ma J, 2006. Effects of plant species switching on contents and dynamics of trehalose and trehalase activity of *Bemisia tabaci* B-biotype and *Trialeurodes vaporariorum*. *Scientia Agricultura Sinica*, 39(7): 1387-1394. [雷芳, 张桂芬, 万方浩, 马骏, 2006. 寄主转换对B型烟粉虱和温室粉虱海藻糖含量和海藻糖酶活性的影响. 中国农业科学, 39(7): 1387-1394]

Liu JC, Liao Y, 2006. Analysis of the causes of *Nilaparvata lugens* outbreak in Anhui province in 2005. *China Plant Protection*, 26: 34-37. [刘家成, 缪勇, 2006. 2005年安徽省水稻褐飞虱大发生影响因子分析. 中国植保导刊, 26: 34-37]

Nath BS, 2000. Changes in carbohydrate metabolism in hemolymph and fat body of the silkworm, *Bombyx mori* L., exposed to organophosphorus insecticides. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 68(3): 127-137.

Ogiso M, Takahashi SY, 1984. Trehalases from the male accessory glands of the American cockroach: developmental changes and the hormonal regulation of the enzymes. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 55: 387-392.

Riley JR, Reynolds DR, Smith AD, Rosenberg LJ, Cheng XN, Zhang XX, Xu GM, Cheng JY, Bao AD, Zhai BP, Wang HK, 1994. Observations on the autumn migration of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and other pests in east central China. *Bull. Entomol. Res.*, 84: 389-402.

Rosenberg LJ, Magor JI, 1987. Predicting windborne displacements of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* from synoptic weather data. 1. Long-distance displacements in the north-east monsoon. *J. Anim. Ecol.*, 56: 39-51.

Samer A, Wang F, Wu JC, Shen J, Wang LP, Yang GQ, Guo YR, 2009. Comparisons of stimulatory effects of a series of concentrations of four insecticides on reproduction in the rice brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae). *Int. J. Pest Manag.*, 55(4): 347-358

Shen L, Cheng XN, 1998. The effect of migration on reproduction of *Nilaparvata lugens* (Stål). *Journal of Nanjing Agricultural University*, 21(3): 32-35. [沈丽, 程遐年, 1998. 迁飞对褐飞虱生殖的影响. 南京农业大学学报, 21(3): 32-35]

Thompson SN, 2003. Trehalose - the insect "blood" sugar. *Adv. Insect Physiol.*, 31: 205-285.

Wyatt GR, 1967. The biochemistry of sugars and polysaccharides in insects. *Adv. Insect Physiol.*, 4: 287-360.

Yin JL, Hu JH, Xu HW, Wu JC, Wang F, Yang GQ, 2008. Comparisons of levels of crude fat, soluble sugars, and free amino acids in offsprings of the immigrant and non-immigrant populations of the brown planthopper, *Nialaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae), under insecticide stress. *Acta Entomol. Sin.*, 51(11): 1103-1112. [印建莉, 胡君欢, 徐海伟, 吴进才, 王飞, 杨国庆, 2008. 杀虫剂胁迫下褐飞虱迁飞虫和本地虫后代体内粗脂肪、可溶性糖及氨基酸含量的比较. 昆虫学报, 51(11): 1103-1112]

Yu CH, Zhao F, Lu D, Wang XJ, Jiang H, Lin RH, 2009. Selection of *Ostrinia furnacalis* (Guenée) by lambda-cyhalothrin and its effect on the activity of trehalase. *Acta Phytophylacica Sinica*, 36(3): 257-260. [于彩虹, 赵飞, 卢丹, 王晓军, 姜辉, 林荣华, 2009. 高效氯氟氰菊酯对亚洲玉米螟汰选及海藻糖酶活性的影响. 植物保护学报, 36(3): 257-260]

Zhao KF, Shi ZP, Wu JC, 2011. Insecticide-induced enhancement of flight capacity of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål (Hemiptera: Delphacidae). *Crop Prot.*, 30: 476-482.

Zou YD, Chen JC, Wang SH, 1983. Study on the relationship between the internal contents of energy substance and the vitality of lipase with the migration of rice leaf roller (*Cnaphlocrocis medinalis* Guenée) and brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål). *Acta Ecol. Sin.*, 3(1): 63-68. [邹运鼎, 陈基诚, 王士槐, 1983. 稻纵卷叶螟、褐飞虱体内能源物质动态与迁飞关系的研究. 生态学报, 3(1): 63-68]

(责任编辑: 赵利辉)